

**ПРЕЦИЗИОННАЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ  
ЦИФРОВОЙ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Р.Н. Сергеев

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. М.Н. Осипов

АО «РКЦ «Прогресс»,

Россия, г. Самара, ул. Земеца, 18, 443009

Самарский университет им. академика С.П. Королёва,

Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34, 443087

E-mail: [romansr@yandex.ru](mailto:romansr@yandex.ru)

Экспериментальная отработка прочности является основой обеспечения надежности и безопасности ракетно-космической техники (РКТ), стоимость которой доходит до 40-60% от общей стоимости всех испытаний. Высокая степень весового совершенства несущих конструкций РКТ достигается применением изотропных и анизотропных материалов, работающих в экстремальных условиях. Современный подход моделирования сложного напряжено-деформированного состояния основан на применении численных методов. Адекватность разрабатываемой численной модели определяется исходными данными. Несомненную пользу здесь окажет использование экспериментальной информации.

Экспериментальные методы должны обладать высокими метрологическими характеристиками, обеспечивать возможность измерений деформированного состояния по всей поверхности объекта исследования, иметь высокий уровень автоматизации и информационной емкости. Перечисленным требованиям наиболее полно соответствуют оптические методы исследования, в частности, методы цифровой спекл-интерферометрии. Экспериментальная информация данных методов представляет цифровое изображение с картиной интерференционных или дифракционных полос, которые связаны с величинами деформационных перемещений объекта как  $\lambda/2$ , где  $\lambda$  – длина волны излучения лазера.

Разработано оптико-электронное устройство, позволяющее регистрировать деформационные перемещения по трем координатам при воздействии вибрационных, статических и тепловых нагрузках. На рис. 1 приведен пример реализации разработанного оптико-электронного узла являющегося неотъемлемой частью контрольно-измерительной системы [1,2].



Рис. 1. Общий вид оптико-электронного узла: 1 – лазер LCS-DTL-317-50; 2 – расширитель пучка; 3 – телекамера; 4 – рабочий стол; 5 – оптическая линейка; 6 – подвижный телевизионный штатив

Ниже продемонстрированы некоторые результаты практического применения разработанной контрольно-измерительной системы. Показана возможность исследования термоупругих деформационных перемещений конструкционных материалов (Д16, пластин с сотовым заполнителем из алюминиевых сплавов) [1].

Разработана методика определения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) материала по спекл-интерферограммам (рис.2) регистрируемых температурных перемещений. Предлагаемая методика позволяет получать ТКЛР в различных направлениях в плоскости объекта исследования за один эксперимент с высокой достоверностью.

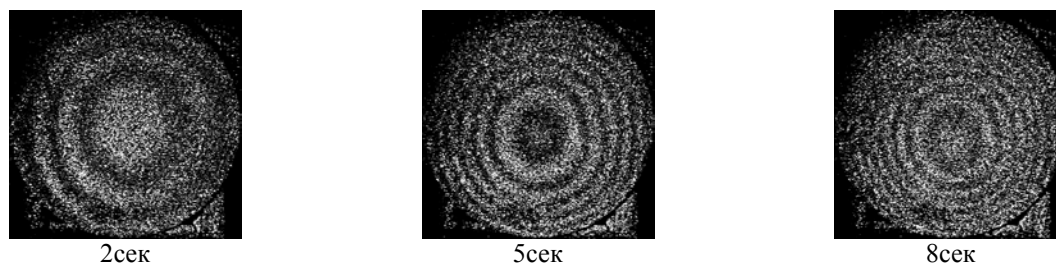


Рис. 2. Спекл-интерферограммы изгиба образца в процессе его нагрева трехслойного диска

На рис. 3 показан результат предлагаемого способа по определению собственных частот и форм колебаний прямоугольной трехслойной пластины с сотовым заполнителем. Экспериментальные результаты сравнивались с данными доплеровских вибromетров PDV-100 и PSV-400-3D, а также результатами численного моделирования [2].

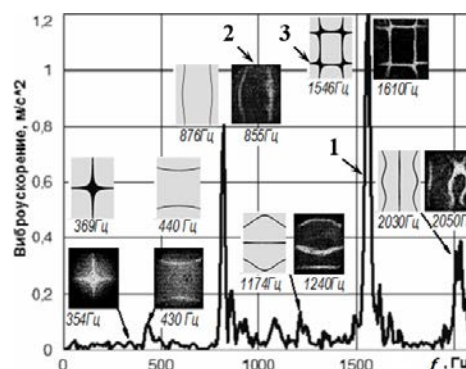


Рис.3. График частот и форм колебаний сотовой пластины: 1 – спектр собственных частот (вибromетр PDV-100); 2 – спекл-интерферограммы; 3 – результаты численного моделирования

В работе рассматриваются вопросы повышения качества и расширения диапазона измеряемых перемещений методом спекл-фотографии за счет применения кольцевой апертуры [3]. Экспериментальные результаты анализа интерференционных картин восстановленных методом Юнга с двухэкспозиционной спекл-фотографией, подтверждающие теоретические расчеты показаны на рис.4аб. Повышение качества позволяет получать полосы муара (рис. 4в), по которым можно определить величину деформаций.

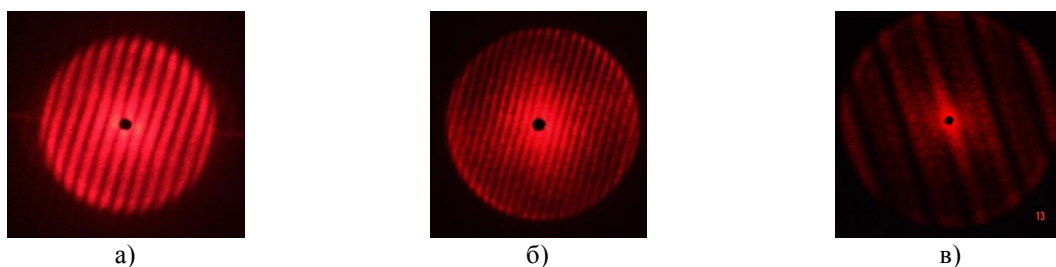


Рис. 4. Спеклограмма полос Юнга: а) с круглой апертурой; б) с кольцевой апертурой; в) картина полос Муара

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев Р.Н. Применение цифрового спекл-интерферометра с непрерывным лазером для исследования неустановившихся температурных деформаций //Известия СНЦ РАН, т. 13, №4(2), 2011 – С. 628-631.
2. Shakhmatov E.V., Zhuravlev O.A., Sergeev R.N., Safin A.I. Development and application of mobile digital speckle interferometer for vibrometer model sample honeycomb//Procedia Engineering.– 2015.–V.106.– P. 247-252.
3. Osipov M.N., Sergeev R.N. Digital Speckle Photography with a Ring Aperture Diaphragm//Procedia Engineering.– 2017 – [В печати]